

51

BUNDESREPUB. DEUTSCHLAND

Int. Cl.:

H 01 b

DEUTSCHES PATENTAMT



52

Deutsche Kl.: 21 c, 2/22

10

11

Offenlegungsschrift 1640 249

21

Aktenzeichen: P 16 40 249.6 (G 50827)

22

Anmeldetag: 5. August 1967

43

Offenlegungstag: 20. August 1970

Ausstellungspriorität: —

31

Unionspriorität

32

Datum: 24. August 1966

33

Land: V. St. v. Amerika

31

Aktenzeichen: 574659

54

Bezeichnung: Elektrische Isolierungen und Verfahren zu deren Herstellung

61

Zusatz zu: —

62

Ausscheidung aus: —

71

Anmelder: General Electric Co., Schenectady, N. Y. (V. St. A.)

Vertreter: Ratzel, Dipl.-Chem. Dr. rer. nat. Gerhard, Patentanwalt,
6800 Mannheim

72

Als Erfinder benannt: Mathes, Kennetz Natt, Schenectady, N. Y. (V. St. A.)

Benachrichtigung gemäß Art. 7 § 1 Abs. 2 Nr. 1 d. Ges. v. 4. 9. 1967 (BGBl. I S. 960): 1. 9. 1969

DT 1640249

GENERAL ELECTRIC COMPANY
1 River Road
Schenectady, New York / USA.

Elektrische Isolierungen und Ver-
fahren zu deren Herstellung.

Die Anmeldung betrifft elektrische Isolierungen und Verfahren zur Behandlung solcher Isolierungen, sowie insbesondere verbesserte poröse fasrige elektrische Isolierungen und Verfahren zur Behandlung solcher Isolierungen, durch welche beim Arbeiten sehr tiefer Temperaturen im flüssigen Wasserstoff der Verlust der Elektrizität erniedrigt und die Stromstärke erhöht wird.

Elektrische Isolierungen, die in der Tieftemperaturtechnik angewendet werden können, haben mannigfache Verwendung ge-

1640249

funden. Hierzu gehören superleitfähige Magnet, Schaltelemente, Generatoren, Motoren, Kondensatoren, Kabeln und Transformatoren. Bei solchen Verwendungsarten ist es notwendig, dass die elektrische Isolierung beständig ist und der mit ihr verbundene elektrische Leiter gute elektrische Leitfähigkeit bei Tieftemperaturen aufweist. In einem Artikel von K. N. Mathes über "Electrical Insulation at Cryogenic Temperatures" im September-Heft 1963 der Zeitschrift "Electro-Technology" sind auf den Seiten 72-77 bestimmte Effekte über spezielle elektrische Isolierungen bei besonders tiefen Temperaturen beschrieben.

Die vorliegende Erfindung betrifft verbesserte elektrische Isolierungen, sowie die daraus hergestellten isolierten Leiter und Verfahren zur Herstellung der verbesserten Isolatoren zur Verwendung bei Temperaturen des flüssigen Wasserstoffs. Poröse fasrige elektrische Isolierungen bestehen aus einer grossen Anzahl von Materialien, insbesondere Papier, Matten, Filmen und Laminaten. Geeignete poröse fasrige elektrische Isolierungen sind beispielsweise Lumpenpapier, Kabelpapier, Asbestpapier, acetyliertes Papier, cyanäthylisiertes Papier und ähnliche modifizierte Papiere, Glasmatten, ungewebte Dacron-Harze, Polyvinylalkoholfilme und Lamine aus diesen Materialien mit Folien, wie Polyesterfolien (bekannt unter dem Warenzeichen Mylar) oder Polyimiden.

Gemäss der vorliegenden Erfindung werden verbesserte elektri-

009834/1505

1640249

sche Isolierungen erhalten, wenn man die porösen fasrigen elektrisch n. Isolierungen mit flüssigem Wasserstoff und gegebenenfalls mit einer dielektrischen polaren Flüssigkeit imprägniert.

Die Besonderheiten und Vorteile der vorliegenden Erfindung sind aus der folgenden Beschreibung in Verbindung mit der Zeichnung ersichtlich.

Wenn poröse fasrige elektrische Isolierungen in Form von konventionellem cellulosen Kabelpapier bei oder oberhalb Zimmertemperatur für hohe Spannungen verwendet werden, werden sie anfangs in einer dielektrischen Flüssigkeit, wie Öl, im Vakuum imprägniert, um sie für hohe Spannungen geeignet zu machen. Ein allgemeines Verfahren, solche Eignung oder Lebenserwartung zu bestimmen und zu vergleichen, besteht in der Messung des Ableitungsfaktors als Funktion der Zeit bei verschiedenen Spannungen. Instabilität wird bei einer besonderen Temperatur angezeigt, wenn der Ableitungsfaktor dazu neigt, als Funktion der Zeit zuzunehmen.

Das obige Kabelpapier wurde auch mit flüssigem Stickstoff behandelt. Messungen des Ableitungsfaktors wurden in Abhängigkeit von der Zeit durchgeführt. Obgleich niedere Werte des Ableitungsfaktors bei verschiedenen Spannungen erhalten wurden, war die Stabilität sehr ähnlich der Leistung solcher Isolierung n, die in dielektrischem Öl eingetaucht und bei

009834/1505

oder oberhalb Zimmertemperatur gemessen wurden.

Es wurde überraschenderweise gefunden, dass poröse fasrige elektrische Isolierungen verbesserte Stabilität aufweisen, wenn man solche Isolierungen mit flüssigem Wasserstoff imprägniert, wodurch ein gutes Tiefsttemperaturdielektrikum entsteht. Es wurde gefunden, dass dabei eine völlig unerwartete Abnahme des Ableitungsfaktors mit der Zeit erfolgt, welcher bei verschiedenen Spannungen vorkommt. Konventionelles mit Öl imprägniertes Kabelpapier und mit siedendem flüssigen Stickstoff behandeltes Kabelpapier zeigen ein Ansteigen des Ableitungsfaktors und versagen anschliessend. Es wurde auch ein unerwarteter Abfall des Ableitungsfaktors mit der Zeit bei Spannungen gefunden, die weit über denen liegen, für welche Instabilität sowohl für Öl-imprägnierte oder mit flüssigem Stickstoff imprägnierte Kabelpapiere festgestellt wurden. Dieser Abfall des Ableitungsfaktors mit der Zeit führt zu dielektrischer Stabilität der Isolierung bei Tiefsttemperatur des flüssigen Wasserstoffs. Dieses Verhalten ist das genaue Gegenteil von demjenigen von konventionellen dielektrischen Flüssigkeiten oder von flüssigem Stickstoff bei normalen Temperaturen.

Ausserdem wurde gefunden, dass die Stabilität solcher Isolierungen bei Tiefsttemperaturen des flüssigen Wasserstoffs für poröse fasrige elektrische Isolierungen weiter erhöht werden kann, wenn man sie sowohl mit einer dielektrischen polaren

009834/1505

Flüssigkeit als auch mit flüssigem Wasserstoff imprägniert. Es wurde gefunden, dass man die poröse, fasrige Isolierung in eine dielektrische polare Flüssigkeit, wie Wasser, Propylenoxyd, Formaldehyd, Formamid, Äthylacrylat oder Äthylbromid eintauchen und später mit flüssigem Wasserstoff imprägnieren kann, um sie bei Temperaturen des flüssigen Wasserstoffs anzuwenden.

Die einzige Figur der Zeichnung zeigt einen Apparat 10 zur Messung des Ableitungsfaktors von elektrischen Isolierungen als Funktion der Zeit bei verschiedenen Spannungen. Die Tests für dielektrische Verluste bei hohen Spannungen wurden nach den Standard-Vorschriften D-150 der American Society of Testing Materials Standard durchgeführt. Instabilität wird bei einer bestimmten Temperatur angezeigt, wenn der Ableitungsfaktor dazu neigt, als Funktion der Zeit zu wachsen.

Der Apparat 10 besteht aus einer Bandelektrode 11, die über eine Leitung 12 mit einem Ende der Elektrode verbunden ist und einer zweiten Leitung 13, die mit der im Apparat zu testenden elektrischen Isolierung in Verbindung steht. Die Leitungen 12 und 13 sind mit den Enden des Transformators 14 verbunden. Ein Wandler (variac) 15 ist über die Leitungen 16 und 17 mit den anderen Enden des Transformators 14 verbunden. Eine geerdete Leitung 18 wurde von der Leitung 12

1640249

abgezweigt. Eine Kraftquelle (nicht gezeigt) ist mit dem Wandler 15 verbunden, wodurch die Spannung um die zu testende elektrische Isolierung variiert wird. Die Isolierung 19 hat die Form einer rostfreien Stahlröhre mit vier darum gewickelten Lagen fasrigen elektrischen Isoliermaterials. Die Leitung 13 ist mit der Isolierung 19 verbunden, während die Leitung 12 mit einem Ende der Elektrode 11 verbunden ist.

Der in der Figur abgebildete Apparat enthält einen isolierten Behälter 20, der mit einer Tiefsttemperatur-Flüssigkeit 21 gefüllt ist und dadurch zum Testen von elektrischen Isolierungen bei Tiefsttemperaturen geeignet ist. Der Behälter 20 besitzt einen Deckel 22 mit Löchern 23 für die Leitungen 12 und 13 und eine Öffnung 24.

Eine zylindrische Röhre aus rostfreiem Stahl wurde mit vier Lagen 0,127 mm starkem Cellulosekabelpapier mit einer Dichte von 0,9 umwickelt. Diese poröse fasrige elektrische Isolierung, die vorher im Vakuum mit dielektrischem Öl imprägniert worden war, trägt eine Kupferbandelektrode, die um ihren äusseren Mantel gewickelt ist. Ein Ende der Elektrode wurde mit der einen Leitung verbunden, das andere mit der Isolierung. Beim Einschalten des Stromes betrug die Temperatur 23°C; der Wandler wurde auf eine mittlere Stärke der Spannung von 600 Volt pro 0,0254 mm eingestellt. Nach 5 Minuten zeigte die Isolierung Zeichen von Instabilität, was am Ansteigen des Ableitungsfaktors mit der Zeit zu

009834/1505

sehen war. Bei 725 Volt pro 0,0254 mm versagte die Isolierung. Diese Ergebnisse sind aus der unteren Tabelle I zu entnehmen.

Der gleiche Apparat wurde wieder verwendet, wobei der Behälter mit flüssigem Stickstoff gefüllt war. Cellulosekabelpapier mit einer Dichte von 0,9, das nicht mit Öl imprägniert worden war, wurde in eine Kupferbandelektrode eingewickelt und in flüssigem Stickstoff eingetaucht. Das obige Verfahren wurde wiederholt, um den Ableitungsfaktor als Funktion der Zeit zu bestimmen. Obwohl niedrigere Werte des Ableitungsfaktors bei verschiedenen Spannungen gemessen wurden, war die Stabilität ähnlich derjenigen der oben beschriebenen Isolierung, die durch Imprägnierung im Vakuum mit dielektrischem Öl erhalten worden war. Diese Ergebnisse sind aus der Tabelle I zu entnehmen.

TABELLE I

Ableitungsfaktor als Funktion der Zeit

mittlere Spannung Feldstärke (stress-voltage)/ 0,0254 mm	Zeit (Minuten) nach Anlegen der Spannung	<u>Ableitungsfaktor - tan δ</u>	
		Öl-imprägniertes Papier bei 23°C.	Papier in siedenden flüssigen Stickstoff -156°C.
250	1	---	---
	5	---	---
	10	---	---
375	1	---	---
	5	---	---
600	1	0,0020	
	5	0,00315	
	10	0,0034	
	15	0,0036	
725	1	0,014	
	2	0,018 (versagt)	
750	1	versagt	
	5		
	10		
	15		
900	1		
	5		
	10		
	15		

Es wurde der gleiche Apparat mit einem mit flüssigem Wasserstoff gefüllten Behälter verwendet. Cellulosekabelpapier mit einer Dichte von 0,9, das nicht in Vakuum mit Öl imprägniert worden war, wurde in eine Kupfer-Abwickelrolle eingewickelt.

009834/1101

1640249

und in flüssigen Wasserstoff eingetaucht, wodurch die Papierisolierung imprägniert wurde. Der isolierte Leiter bestand aus einem elektrischen Leiter in Form eines Zylinders aus rostfreiem Stahl, dessen äussere Oberfläche mit poröser, fasriger elektrischer Isolierung bedeckt war. Die Isolierung wurde mit flüssigem Wasserstoff imprägniert. Das obige Verfahren wurde dann wiederholt, um den Ableitungsfaktor als Funktion der Zeit zu bestimmen. Unerwarteterweise zeigte diese Isolierung sogar bei 900 Volt pro 0,0254 mm verbesserte Stabilität; der Ableitungsfaktor fiel mit der Zeit ab. Der isolierte Leiter zeigte verbesserte elektrische Feldstärke bei dieser tiefen Temperatur. Diese Ergebnisse sind aus der Tabelle II zu entnehmen. Der obige Apparat wurde wieder verwendet. Jedoch wurde Cellulosekabelpapier mit einer Dichte von 0,7 angewendet. Nach der Imprägnierung in flüssigem Wasserstoff zeigte dieses Papier bei niederen Spannungen Stabilität. Jedoch bei höheren Spannungen war das Papier mit der höheren Dichte von 0,9 überlegen. Die Ergebnisse sind aus der Tabelle II zu entnehmen.

009834/1505

BAD ORIGINAL

TABELLE II

Ableitungsfaktor als Funktion der Zeit

mittlere Spannung Feldstärke / 0,0254 mm	Zeit (Minuten) nach Anlegen der Spannung	Ableitungsfaktor - $\tan \sigma$	
		Papier in siedendem flüssigen Wasserstoff, -253°C.	
		Papier 0,9 Dichte	Papier 0,7 Dichte
250	1	weniger als 0,0003	0,00068
	5	" " "	0,00065
	10	" " "	0,00060
375	1	weniger als 0,0003	0,00130
	5	" " "	0,00117
600	1	weniger als 0,0003	
	5	" " "	
	10	" " "	
725	1	--	
	2	--	
750	1	0,00036	0,0017
	5	0,00075	0,0018
	10	0,00055	0,0018
	15	0,00055	0,0018
900	1	0,010	--
	5	0,0050	--
	10	0,0031	--
	15	0,0025	--

Der gleiche Apparat wurde verwendet mit einem Behälter, der mit siedendem flüssigen Wasserstoff gefüllt war. Acetyliertes Papier wurde verwendet, um das eine Kupferbandelektrode gewickelt war, und in flüssigen Wasserstoff eingetaucht, wodurch das Papier imprägniert wurde. Das gleiche Verfahren wurde wiederholt, um den Ableitungsfaktor als Funktion der Zeit zu bestimmen. Es wurde eine mittlere Spannung von 912 Volt als

1130 Volt angelegt. Diese mit flüssigem Wasserstoff imprägnier-
te Isolierung zeigte einen unerwarteten Anfall des Ableitungs-
faktors als Funktion der Zeit.

TABELLE III

Ableitungsfaktor als Funktion der Zeit

mittlere Spannung Feldstärke / 0,0254 mm	Zeit (Minuten) nach Anlegen der Spannung	Ableitungsfaktor - $\tan \delta$	
		Papier 0,5 mils	acetyliert
900	1	0,010	
	5	0,008	
	10	0,008	
	15	0,0025	
912	1		0,0002
	2		0,0002
	8-1/2		0,0002
1090	10 (Sek.)		0,0002
	2-1/2		0,0002
	10		0,0002
	15-1/2		0,0002
	60		0,0002
	130		0,0002
	174		0,0002
	240		0,0002
1130	1/2		0,0002
	2		0,0002
	12		0,0002

Die in den Tabellen I, II und III zusammengefassten Ergebnisse
wurden mit Isolierungen erhalten, welche die eher einseitige

liche Verteilung der Spannungsbeanspruchung in einer Kabelkonstruktion repräsentieren. Bei vielen anderen Anwendungen, wie beispielsweise in Transformatoren und insbesondere in Kondensatoren sind starke Konzentrationen von Spannungsbeanspruchungen zu erwarten. Die unerwarteten Ergebnisse, wie sie in den obigen Tabellen für mehr einheitliche Felder angegeben wurden, sind auch für nicht einheitliche Spannungsfelder anwendbar, wie es aus der unteren Tabelle IV zu entnehmen ist. Es wurde der Apparat und das obige Verfahren mit einem besonderen Kondensator verwendet, in dem sich eine scharfe Konzentration von Spannungsbeanspruchung an den Ecken der Elektrode ausbildet. Es wurde beobachtet, dass in Öl die Stabilität bei niedrigerer Spannung auftritt; die mit flüssigem Wasserstoff imprägnierte Isolierung zeigt unerwarteterweise wiederum einen Abfall des Ableitungsfaktors mit der Zeit.

TABELLE IVAbleitungsfaktor als Funktion der Zeit

Mittlere Spannung Feldstärke / 0,0254 mm	Zeit (Minuten) nach Anlegen der Spannung	<u>Ableitungsfaktor - $\tan \delta$</u>	
		Öl-imprägniertes Papier bei 23°C.	Papier in siedenden flüssigen Wasserstoff, -253°C
467	1	0,0056	0,00132
	5	0,0058	0,00118
	10	0,0058	0,00115
533	1	0,01	0,0088
	5	0,0125	0,0065
	10	0,029	0,0055
	15	0,047	0,0051
600	1	0,086	0,0195
	5	versagt	0,018
	10	"	0,016
	15	"	0,015
	30	"	0,0125

Die Stabilität der obigen Isolierung wird weiter bei Tiefsttemperaturen des flüssigen Wasserstoffs gesteigert, wenn man die poröse fasrige elektrische Isolierung sowohl mit einer dielektrischen polaren Flüssigkeit und mit flüssigem Wasserstoff imprägniert. Vier Lagen Cellulosekabelpapier von einer Stärke von 0,127 mm und einer Dichte von 0,9 wurden um ein zylindrisches Rohr von rostfreiem Stahl gewickelt. Die Papierisolierung wurde dann mit einer dielektrischen polaren Flüssigkeit in Berührung gebracht oder in sie eingetaucht, um die Isolierung damit zu imprägnieren. Eine Kupferbandelektrode wurde dann um die Isolierung gewickelt, die durch Eintauchen in flüssigen Wasserstoff

009834/1505

imprägniert wurde. Der obige Apparat und das obige Verfahren wurden dann verwendet, um den Ableitungsfaktor als Funktion der Zeit zu bestimmen. Die Ergebnisse, die aus der folgenden Tabelle V zu entnehmen sind, wurden durch Anlegen einer Spannung von 900 Volt pro 0,0254 mm in siedendem und flüssigen Wasserstoff erhalten.

TABELLE V

Ableitungsfaktor als Funktion der Zeit

Zustand des Papiers (bei 23°C.)	Siedende Flüssigkeit, - 253°C.			Gefrorene Flüssigk., -259°C.		
	1 Min.	5 Min.	10 Min.	1 Min.	5 Min.	10 Min.
Getrocknet	0,013	0,0076	0,0055	--	--	--
50 % RH	0,0098	0,0047	0,0030	0,00105	0,0011	0,0007
100 % RH	0,00135	0,00070	0,00060	0,00080	0,00033	0,00029
Imprägniert mit Propylen- oxyd	0,00076	0,00055	0,00035	--	--	--

Die Tabelle VI zeigt die Ergebnisse von Kurzzeit-Spannungstests mit Scheibenelektroden von 6,35 mm und 12,7 mm Durchmesser, die an ihrer Oberfläche Cellulosekabelpapier von einer Dichte von 0,9 tragen, und sich in flüssigem siedendem Wasserstoff befinden. Während sowohl Wasser als auch Formamid ein wesentliches Ansteigen des Spannungsabfalls bewirken, übertrifft Propylenoxyd beide zuerst genannte Imprägniermittel.

009834/1505

TABELLE VI

<u>Erstes Imprägnier-</u> <u>mittel</u>	<u>Lagen</u>	<u>Mittlere Stärke</u> <u>/ 0,0254 mm</u>	<u>Elektrische Feldstärke</u> <u>Volt pro 0,0254 mm Dicke</u>		
			<u>Mittel</u>	<u>Max.</u>	<u>Min.</u>
keines	1	5,35	1450	1490	1380
Wasser	1	8,5	2070	2140	2000
Propylenoxyd	1	5,4	4230	4260	4080
Formamid	1	11,0	2410	2550	2260

/ Patentansprüche:

009834/1505

BAD ORIGINAL

P a t e n t a n s p r ü c h e

- 1.) Verfahren zur Behandlung poröser fasriger elektrischer Isolierungen, dadurch gekennzeichnet, dass man die genannten Isolierungen mit flüssigem Wasserstoff imprägniert.
- 2.) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass man die Isolierungen zusätzlich mit einer dielektrischen polaren Flüssigkeit imprägniert.
- 3.) Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit Propylenoxyd, Wasser oder Formamid ist.
- 4.) Stoffe, dadurch gekennzeichnet, dass sie aus mit flüssigem Wasserstoff imprägnierten porösen, fasrigen elektrischen Isolierungen bestehen.
- 5.) Stoffe nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolierungen zusätzlich mit einer dielektrischen, polaren Flüssigkeit imprägniert sind.
- 6.) Stoffe nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit Propylenoxyd, Wasser oder Formamid ist.
- 7.) Isolierter Leiter, dadurch gekennzeichnet, dass er aus wenigstens einem elektrischen Leiter besteht, der wenigstens zum Teil mit poröser fasriger elektrischer Isolierung bedeckt

009834/1505

./.
BAD ORIGINAL

ist, die mit flüssigem Wasserstoff imprägniert ist.

8.) Produkt nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolierung zusätzlich mit einer dielektrischen polaren Flüssigkeit imprägniert ist.

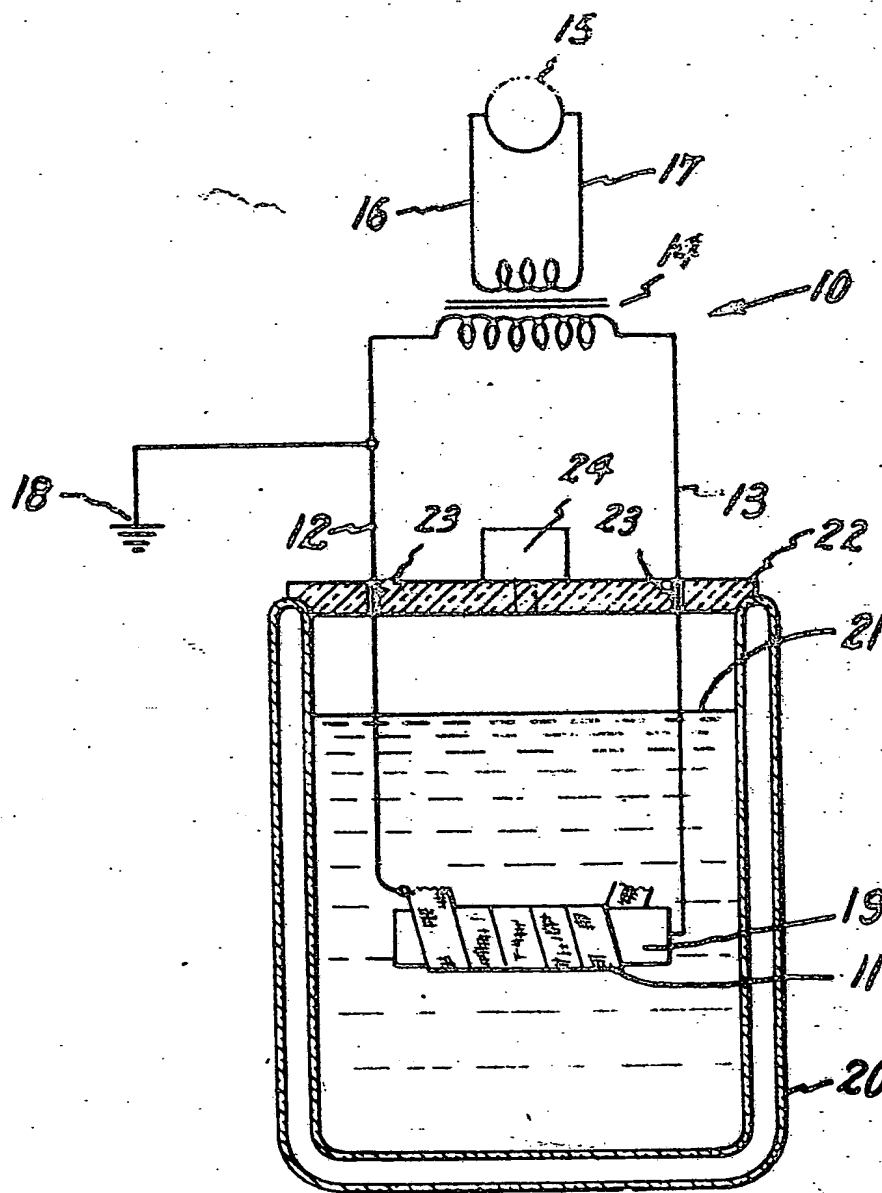
9.) Produkt nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit Propylenoxyd, Wasser oder Formamid ist.

009834/1505

BAD ORIGINAL

19

1640249



009834/1505

ORIGINAL INSPECTED